

системы энергоменеджмента, ООО «СИБУР», группа «НЛМК», «ТНК-ВР» также значительно повысили энергоэффективность собственной деятельности.

Улучшение экономической ситуации на предприятии, повышение уровня управляемости компании и оптимизация всех бизнес-процессов, репутация компании как успешной – таковы результаты внедрения системы энергетического менеджмента на предприятии.

Список использованных источников

1. Опыт внедрения систем энергоменеджмента на основе ISO 50001 [Электронный ресурс]. URL: http://journal.esco.co.ua/esco/2014_6_7/art48.pdf (дата обращения 13.11.2016).
2. СТАНДАРТ ООО «ЛУКОЙЛ-Уралнефтепродукт». СТО СЭнМ 004-2015. Уфа, 2015.
3. Мероприятия энергосбережения [Электронный ресурс]. URL: http://www.ttk.lukoil.com/materials/00000082/energoberejenie/TTK_programma_meropriyatij_energobere_14_16gg.pdf (дата обращения 13.11.2016).
4. Интервью с В. А. Зубакиным [Электронный ресурс]. URL: <http://energy.s-kon.ru/energomenedzhment-novuj-instrument/> (дата обращения 14.11.2016).
5. Энергоэффективность [Электронный ресурс]. URL: <http://lukoil-zs.ru/projects/project2/> (дата обращения 14.11.2016).

УДК 620.9

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

EVALUATION OF REACTIVE POWER VALUE IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Малафеевских А. О., Шелюг С. Н.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
malafeevskikh_alina@mail.ru, s.n.shelyug@urfu.ru

Malafeevskikh A. O., Shelyug S. N.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: Нагрузка систем электроснабжения интенсивно растет. Данный факт обуславливает необходимость формализации понятия неактивной мощности, а также разработки алгоритмов расчета режимов электрических сетей при наличии несинусоидальных потребителей. В работе рассмотрены основные методы расчета реактивной мощности.

Abstract: The load of electrical power supply system is increasing intensively. This fact causes the necessary of inactive power concept formalization and development of the regimes of the electrical grids with non-sinusoidal consumers calculation algorithms. The basic reactive power calculation methods were considered.

Ключевые слова: несинусоидальные системы; реактивная (неактивная) мощности; расчет мощности с несинусоидальной нагрузкой.

Keywords: non-sinusoidal systems, reactive (inactive) power, power with non-sinusoidal load calculation.

Рост бытовой нагрузки систем электроснабжения сопровождается повышением единичной мощности электроприемников, реактивной составляющей полной мощности, а также увеличением искажения формы токов и напряжения. В связи с этим актуальность задачи компенсации реактивной мощности в электроэнергетических системах растет. Отсутствие строгой методологии для толкования понятия реактивной мощности привело к появлению различных методов оценки ее величины [1]. Однако, на сегодняшний день не существует единой точки зрения на решение данной задачи. Для синусоидального режима активная, реактивная и полная мощности определяются по общепринятым выражениям:

$$P = UI \cdot \cos\varphi, \quad (1)$$

$$Q = UI \cdot \sin\varphi, \quad (2)$$

$$S = IU. \quad (3)$$

Полная мощность при синусоидальном напряжении и токе равна:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (4)$$

При несинусоидальном и несимметричном режиме это равенство не выполняется. Известные методы выделения и расчета составляющих мощности, в зависимости от используемых математических аппаратов, можно условно разделить на *спектральные, интегральные и энергопотоковые*.

В табл. 1 приведены сведения по методам расчета реактивной мощности в условиях несинусоидальных напряжений и токов.

Многообразие методов расчета реактивной мощности в несинусоидальной сети говорит о том, что в настоящее время нет единой точки зрения на этот вопрос. Различие методов в общем случае обусловлено различием физической сущности, описанной соответствующими уравнениями.

В табл. 2 приведены результаты расчета величины реактивной мощности участка цепи различными методами при одинаковых формах приложенного напряжения и протекающего тока.

Таблица 1

Методы расчета реактивной мощности в условиях несинусоидальности

Название метода	Расчетные уравнения	Примечания
Спектральные методы – определение составляющих мощности через гармонический состав тока и напряжения		
К. Буденау [2]	$Q = \sum Q_k = \sum_{k=1}^k U_k I_k \sin \varphi_k$	$S^2 = \left(\sum P_k \right)^2 + \left(\sum Q_k \right)^2 + \left(\sum D_k \right)^2$
Д. Шарон [3]	$S_Q = Q_{III} = U \sqrt{\sum_{k=1}^K I_k^2 (\sin \varphi_k)^2}$	$S^2 = P^2 + S_Q^2 + S_C^2$
Кастерс-Муру [1]	$Q = \sum_k k U_k I_k \sin \varphi_k \sqrt{\frac{\sum_k U_k}{\sum_k k U_k}}$	$i = i_a + i_{qc} + i_{qcr}$ $S^2 = P^2 + Q^2 = P^2 + Q_l^2 + Q_{lr}^2$ $= P^2 + Q_c^2 + Q_{cr}^2$
Стандарт IEEE 1459-2010 [5]	$S_N^2 = D_I^2 + D_U^2 + S_H^2 = (U_1 I_H)^2 + (U_H I_1)^2 + (U_H I_H)^2$	$S_1^2 = (U_1 I_1)^2$ $N = \sqrt{S^2 - P^2}$
Интегральные методы – определение составляющих мощности через интегрирование мгновенных значений тока и напряжения		
Илиовиси [1]	$Q = \frac{S_{BAX}}{2\pi}$	$S_{BAX} = \int_t^{t+T_0} u(t) \frac{di(t)}{dt} dt$
О. А. Маевский [6]	$Q = \pm \frac{1}{2\pi} \oint i(u) du;$ $Q = \pm \frac{1}{2\pi} \oint u(i) di.$	$Q_c = \frac{1}{4\pi} F_{BAX} =$ $= \frac{1}{4\pi} \sum_{j=1}^N [(u(t_j) - u(t_{j+1})) (i(t_j) + u(t_{j+1}))]$
Энергопотоковые методы – определение реактивной мощности, основаны на понятии разделения токов		
Зарнецкий [1]	$Q_r^2 = U^2 I_r^2 = U^2 \sum_n I_n^2 \sin^2 \varphi_n = S_Q^2$	$U_n = [U_{Rn}, U_{Sn}, U_{Tn}]^T, I_n = [I_{Rn}, I_{Sn}, I_{Tn}]^T$ $S^2 = \ u\ ^2 \ i\ ^2 = P^2 + D_S^2 + Q_r^2$
Фризе [1]	$Q = UI_r = \sqrt{(UI)^2 - (UI_a)^2} = \sqrt{S^2 - P^2}$	$i_{La,b,c} = i_{Lpa,b,c} + i_{Ln,b,c}$ $i_{La,b,c} = \frac{1}{T} \int_{t-T_s}^T (u_{Sa} i_{La} + u_{Sb} i_{Lb} + u_{Sc} i_{Lc}) dt$ $i_{La,b,c} = \frac{\sum_{a,b,c} U_{Sa,b,c}^2(t)}{\sum_{a,b,c} U_{Sa,b,c}^2(t)} u_{Sa,b,c}$

Анализ представленных выше и в [7] результатов говорит о том, что наибольший результат дает теория Фризе (самый простой алгоритм, но учитывает все возможные неактивные составляющие). Остальные методы дают

результаты, завышенные по отношению к мощности первой гармоники за счет учета энергетического вклада высших гармоник.

Проведенный анализ методик расчета реактивной мощности при несинусоидальных режимах показывает, что до сих пор не создана строгая общепринятая теория. Значения реактивной мощности, определенные исходя из разных теорий, могут значительно отличаться.

Таблица 2

Результаты расчета реактивной мощности								
Метод	Значение реактивной мощности, ВАр							
	Основная гармоника	Буденау	Фризе	Шарон	Кастерс-Муру	Зарнецкий	Маевский	IEEE 1459-2010
Результат	55,0	55,7	152,2	108,6	108,6	109,5	110,0	108,3

Без четкой формулировки понятия «реактивной мощности» и формализации общепринятого метода расчета нельзя качественно решать вопрос ее компенсации. Необходимо сначала решить вопрос с исправлением формы кривых тока и напряжения, а уже потом заниматься компенсацией.

Список использованных источников

1. Солодухо Я. Ю. Тенденции компенсации реактивной мощности. Ч. 1. Реактивная мощность при несинусоидальных режимах работы / Я. Ю. Солодухо. М. : Информэлектро, 1987. 50 с.
2. Budenau C. Puissance reactives et fictives. Buharest, Rumania : Inst. Romain de l'Energie, 1927.
3. Sharon D. Power factor definitions and power transfer quality in nonsinusoidal situations // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 1996. Vol. 45. P. 728-733.
4. Kusters N., Moore W. On the Definition of Reactive Power Factor of the Supply Systems // IEEE Trans. Power App. Syst. September/October 1980. Vol. PAS99. P. 1845-1854.
5. IEEE STD/1459-2010. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Non-Sinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. 40 p.
6. Маевский О. А. Энергетические показатели вентильных преобразователей / О. А. Маевский. М. : Энергия, 1978. 320 с.
7. Возисова О. С., Шелюг С. Н. Реактивная мощность в несинусоидальных системах // Электроэнергетика глазами молодежи: тр. VI междунар. науч.-техн. конф., 9-13 ноября 2015, Иваново. В 2 т. Т. 1. Иваново : ИГЭУ, 2015. С. 75-78.